

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бутовская Е. М., Кузнецова К. И. Зависимость графиков повторяемости землетрясений от глубины очагов и ее возможное истолкование.—Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 2, с. 11—23.
2. Плотникова Л. М., Фленинова М. Г., Соколова И. А. и др. Сейсмический режим Приташкентского района в период, предшествующий возникновению Таваксайского землетрясения.—В сб. Исфара-Баткенское и Таваксайское землетрясения 1977 г. Ташкент, 1981, с. 72—81.
3. Яковлева И. Б. Об информативности графиков повторяемости в качестве предвестников землетрясений в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне.—В сб. Методы определения сейсмической опасности. Кишинев: Штиница, 1984, с. 31—38.
4. Мирзоев К. М. Статистические закономерности группирования коровых землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий.—В сб. Землетрясения Средней Азии и Казахстана. Душанбе: Дониш, 1983, с. 48—68.
5. Кузнецова К. И. Сейсмический процесс как стохастический процесс с физическими параметрами.—Изв. АН СССР. Физика Земли, 1983, № 12, с. 16—28.

Институт сейсмологии  
АН УзССР

Поступило  
15. 07. 87

УДК 550.34

В. И. УЛОМОВ

## РЕШЕТОЧНАЯ МОДЕЛЬ ОЧАГОВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ И ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

В сейсмологии развиваются главным образом континуальные энергетические модели, интегрирующие сейсмические события и приводящие к «размазыванию» квантового сейсмического поля, а часто к утере всякой связи с главным объектом исследований — очагом землетрясений. Вместе с тем почти 96% всей сейсмической энергии, накапливаемой в литосфере, высвобождается мощными порциями редких, но крупных ( $M \geqslant 6,5$ ) землетрясений и только незначительная доля приходится на статистику многочисленных слабых, используемых при традиционном подходе к изучению сейсмического режима. Господствующая парадигма практически не учитывает основные черты сейсмического процесса — нелинейность, неустойчивость и флюктуации — эти фундаментальные свойства природы. На необходимость разработки новых геофизических моделей, адекватно отражающих дискретность сейсмического процесса, неоднократно указывали многие сейсмологи, в том числе Е. М. Бутовская, К. И. Кузнецова, Ю. В. Ризниченко, М. А. Садовский, автор и др. [1—5].

В начале 60-х годов Е. М. Бутовская, используя аналогию как один из методов научного познания и стремясь применить теорию флюктуаций в изучении долговременного среднего распределения по энергии очагов землетрясений, уподобляла их молекулам газа, находящегося в определенных термобарических условиях под некоторой перегородкой, имитирующей земную кору. В результате преодоления «сейсмическими молекулами» этого неравномерно спрочного потенциального барьера как бы высвобождаются кванты сейсмической энергии. При этом прорыв наиболее «энергичных» молекул соответствует крупным землетрясениям, а непрерывное просачивание «слабых» создает сейсмический фон. Ю. В. Ризниченко признал эту «газовую» модель интересной, но в количественном отношении неприемлемой в естественном сейсмическом процессе, хотя по его мнению, модель, предложенная Е. М. Бутовской, являлась хорошей иллюстрацией дискретной стороны этого процесса [2, с. 128—129]. В дальнейшем, к сожалению, «квантовая» модель сейсмического процесса не получила развития, а Ю. В. Ризниченко, продолжая разработку феноменологической энергетической модели, пошел по пути, который представлялся ему более

простым и конструктивным. Для дробления энергии в его континуальной модели использован «закон повторяемости землетрясений» [2].

Можно привести другие примеры, тем или иным образом отражающие отношение сейсмологов к дискретности сейсмического процесса, в том числе эвристические модели распознавания объектов, теории переколяции и т. п.

Одной из перспективных разработок «квантового» подхода к изучению сейсмического режима представляется предложенная автором обобщенная пространственно-временная решеточная модель вероятностно-детерминированного развития сейсмического процесса. В основу ее положено использование решеточной регуляризации и теории

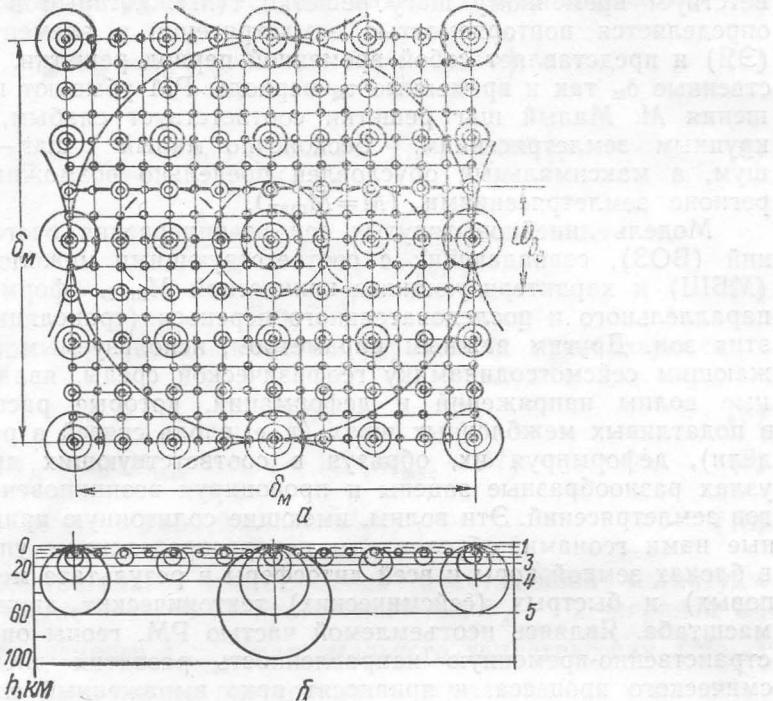


Рис. 1. Элементарная ячейка решеточной модели.

групп, в последние годы широко применяемых в квантовой механике и промежуточной области между физикой твердого тела и физикой элементарных частиц. Как оказалось, модели с дискретными группами симметрии, несмотря на свою абстрактность (а скорее благодаря ей), гораздо легче поддаются количественному анализу, позволяют глубже вникать в физическую сущность явлений.

Введение решеточных представлений в изучение сейсмического процесса — не только удобный математический прием, но и как выясняется, надежный инструмент для решения совершенно конкретных сейсмологических задач и лучшего понимания природы землетрясений.

Одним из главных достоинств обобщенной решеточной модели является ее паритетный подход к дискретности пространства и времени, свойственной квазисимметричному пространственно-временному развитию очаговой сейсмичности. Отсутствие понятия непрерывности и наличие групп симметрии на дискретной решетке открывает широкие перспективы при формировании калибровочной теории сейсмического процесса.

Предложенная автором решеточная модель (РМ) очаговой сей-

смичности представляет собой многослойную упорядоченную тетрагональную решетку, в узлах которой на расстояниях  $\delta(M)$  друг от друга расположены очаги землетрясений размером  $L(M)$ , квантованные по магнитуде  $M$  и размещенные на глубинах  $h$ , равных  $R=L(M)/2$ , что близко к реальному распределению очагов в земной коре (рис. 1). По геофизической природе РМ отражает блоковое строение земной коры и всей литосферы (элементарные ячейки РМ), приуроченность очагов к пересечению (узлы РМ) тектонически мобильных межблочных швов (связи РМ) и иерархию масштабов тех и других объектов (размеры жестких блоков, очагов землетрясений и их магнитуд). Возникновение очагов землетрясений разных магнитуд во времени соответствует временному шагу решетки  $\tau(M)$ , который в свою очередь, определяется повторяемостью землетрясений в элементарной ячейке (ЭЯ) и представляет собой временной период решетки. Как пространственные  $\delta_m$  так и временные  $\tau_m$  периоды РМ убывают по мере уменьшения  $M$ . Малый шаг решетки соответствует слабым, а большой — крупным землетрясениям. Бесконечно малый шаг — сейсмический шум, а максимальный обусловлен предельно возможными в данном регионе землетрясениями ( $M=M_{\max}$ ).

Модель линейновытянутых зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ), совпадающих с соответствующими межблочными швами (МБШ) и характеризующихся конкретной  $M_{\max}$ , формируется путем параллельного и последовательного переноса (трансляцией) ЭЯ вдоль этих зон. Другим важным параметром, используемым в РМ и отражающим сейсмогеодинамику геофизической среды, являются уединенные волны напряжений и деформаций, которые распространяются, в податливых межблочных швах (т. е. вдоль связей в решеточной модели), деформируя их, образуя в соответствующих дислокационных узлах разнообразные зацепы и провоцируя возникновение в них очагов землетрясений. Эти волны, имеющие солитонную природу и названные нами геонами, обусловлены перераспределением упругой энергии в блоках земной коры и всей литосферы в результате медленных (криевых) и быстрых (сейсмических) тектонических движений разного масштаба. Являясь неотъемлемой частью РМ, геоны определяют пространственно-временную направленность развития дискретного сейсмического процесса, и привносят ярко выраженный элемент организации в стохастический поток сейсмических событий, что уже нашло приложение в сейсмологической практике [6].

В результате исследований сейсмогеодинамики Среднеазиатского региона нами найдены численные значения параметров РМ, характеризующие очаговую сейсмичность рассматриваемой территории, выявлены закономерно мигрирующие в межблочных швах области сейсмической активизации (ОСА), детерминированные во времени и пространстве со стохастическим возникновением очагов землетрясений в их пределах [6]. Определены функциональные и статистические зависимости размеров очагов  $L(M)$  и преимущественных межэпицентальных расстояний  $\delta(M)$  от магнитуд землетрясений  $M$ , квантованной шагом 0,5 [7],

$$\lg L_M, \text{ км} = 0,6 M - 2,5, \quad (1)$$

$$\lg \delta_M, \text{ км} = 0,6 M - 1,94 \quad (2)$$

и соотношение этих величин

$$\delta_M = 3,63 L_M. \quad (3)$$

Получена осредненная для Средней Азии зависимость максимальной величины землетрясений ( $M_{\max}$ ) от размеров площади ( $S, \text{ км}^2$ )

квазиоднородных сейсмоактивных блоков земной коры и всей литосфера

$$M_{\max} = 0,833 \lg S + 3,233. \quad (4)$$

Основываясь на законе повторяемости землетрясений

$$\begin{aligned} \lg N &= [\lg N_0 - b(M - M_0)] \text{ при } M \leq M_{\max} \\ N &= 0 \quad \text{при } M > M_{\max} \end{aligned}$$

и полагая, что ширина зоны  $\omega_b$  (рис. 1) возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) совершенно необязательно совпадает по размеру с величиной  $\delta_M$  для элементарной ячейки РМ максимального единичного землетрясения нетрудно в общем виде получить выражения

$$\lg N_M = \lg \left( \frac{\omega_b}{\delta_{M_{\max}}} \right) + 2 \lg \left( \frac{\delta_{M_{\max}}}{\delta_M} \right), \quad (5)$$

$$\lg \tau_M = \tau_{M_{\max}} - \lg \left( \frac{\omega_b}{\delta_{M_{\max}}} \right) - 2 \lg \left( \frac{\delta_{M_{\max}}}{\delta_M} \right), \quad (6)$$

$$b = \frac{2 \lg \left( \frac{\delta_{M_{\max}}}{\delta_M} \right) + \lg \left( \frac{\omega_b}{\delta_{M_{\max}}} \right)}{M_{\max} - M}, \quad (7)$$

которые с учетом (1), (2) и некоторых упрощений преобразуются в следующие

$$\lg N_M = \lg \eta + 1,2(M_{\max} - M), \quad (8)$$

$$\lg \tau_M = \lg \tau_{M_{\max}} - \lg \eta - 1,2(M_{\max} - M), \quad (9)$$

$$b = 1,2 + \frac{\lg \eta}{M_{\max} - M}, \quad (10)$$

где  $N_M$  — количество очагов землетрясений квантованной магнитуды  $M < M_{\max}$  на участке зоны ВОЗ протяженностью  $\delta_{M_{\max}}$  и шириной  $\omega_b$  за период повторяемости  $\tau_{M_{\max}}$  максимального землетрясения ( $M_{\max}$ ) на этом участке;  $\tau_M$  — период повторяемости землетрясений с магнитудой  $M$  за время  $\tau_{M_{\max}}$  на той же площади рассматриваемой зоны;  $b$  — величина угла наклона графика повторяемости землетрясений с  $M < M_{\max}$ , изменяющаяся как и другие параметры ( $N_M$ ,  $\tau_M$ ) в зависимости от величины  $\eta$  отношения ширины  $\omega_b$  зоны ВОЗ к ее длине  $\delta_{M_{\max}}$  в пределах данной ЭЯ ( $M_{\max}$ ).

Из (10) видно, что при  $\eta = 1$ , т. е. в случае  $\omega_b = \delta_{M_{\max}}$ , величина  $b = 1,2$  ( $\gamma \approx 0,67$ ) характеризует логарифмически прямолинейный, т. е. «идеальный» график повторяемости, свойственный и другим очагам землетрясений с магнитудой  $M < M_{\max}$ , области подготовки (или элементарные ячейки) которых совпадают с шириной зоны ВОЗ максимального землетрясения (рис. 1, пунктирные круги). В двух других случаях индивидуальные ( $N_{M_{\max}} = 1$ ) графики не прямолинейны и с увеличением  $M$  при  $\omega_b > \delta_{M_{\max}}$  становятся круче (т. е.  $b > 1,2$ ), а при  $\omega_b < \delta_{M_{\max}}$  несколько выпадающиеся ( $b < 1,2$ ). Впервые подобная трансформация графиков повторяемости нами обнаружена при изучении афтершокового процесса Ташкентского землетрясения 1966 г. и объясняется особенностями процесса дробления развивающейся и рас-

ширяющейся очаговой области [5]. Сейчас это очевидно и количественно определяемо благодаря решеточной модели очаговой сейсмичности.

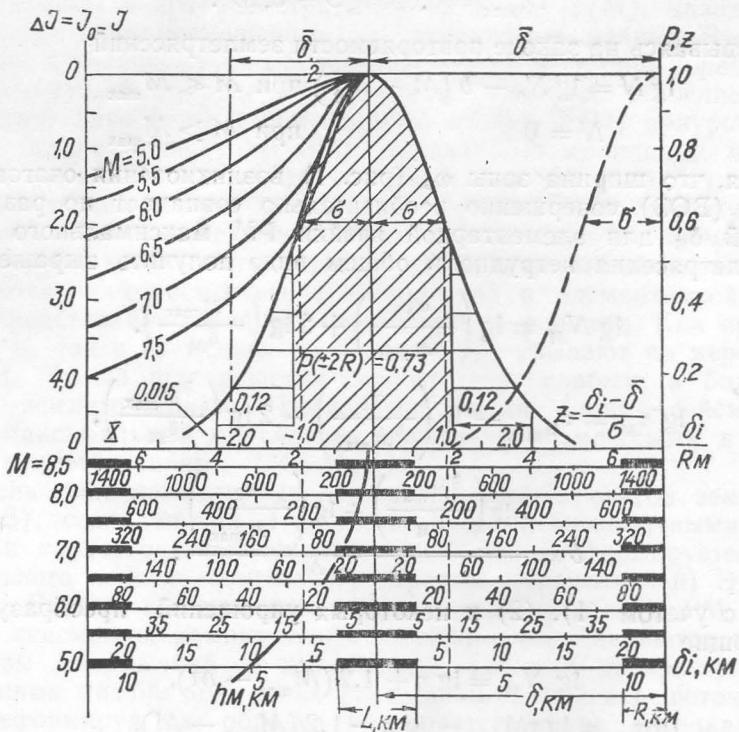


Рис. 2. Номограмма для определения местоположения очагов и теоретических изосейст ожидаемых землетрясений.

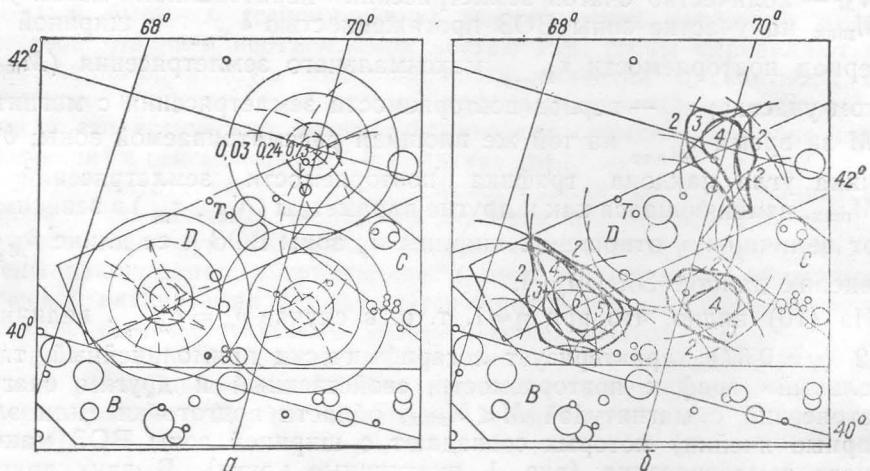


Рис. 3. Определение местоположения потенциальных очагов землетрясений с  $M=6.5$  способом засечек (а) и вероятностных полос (б). Зоны ВОЗ:  $B$  — Южно-Ферганская,  $C$  — Восточно-Ферганская,  $D$  — Ташкентская; круги диаметром  $L (M)$  — очаги землетрясений с  $M=5.0—6.5$ ; справа (б) оконтурены площади наиболее вероятного местоположения потенциальных очагов, подтвержденные тем или иным числом (цифры) уже произошедших землетрясений;  $T$  — Ташкент.

Некоторые другие приложения РМ показаны на рис. 2, 3, иллюстрирующих стандартизованное распределение преимущественных

межэпицентральных расстояний  $\bar{\delta}(M)$  для очагов  $L(M)$  землетрясений различных магнитуд и плотность вероятности  $P(R)$ , используемую для местоопределения очагов потенциальных землетрясений. Аналогичную номограмму можно построить для распределения периодов повторяемости землетрясений  $\bar{\tau}(M)$ . С целью построения теоретических изосейст землетрясений, ожидаемых в «распознанных» с помощью РМ дизъюнктивных узлах, на рис. 2 показано также затухание с расстоянием макросейсмического поля  $\Delta I$  с учетом преимущественной глубины  $h(M)$  залегания гипоцентров землетрясений соответствующих магнитуд. Поиск потенциально опасных очагов реализован способом засечек (а) радиусом  $\delta_m$  (б на рис. 2) из центров в известных очагах и построением вокруг них кругов с плотностью вероятности 0,73, соответствующей двойному размеру прогнозируемого очага, и колец с меньшей плотностью вероятности (0,24 и 0,03). Справа (б) местоположение очага отыскивается способом вероятностных полос, при котором радиусы засечек принимаются соответственно равными  $\delta_m \pm L_m$ . Вероятность возникновения очага землетрясения в наперед заданный отрезок времени оценивается путем детермированного и статистического анализа развития сейсмического процесса [6].

Будем надеяться, что системный решеточный подход в дальнейшем позволит обнаружить и другие неизвестные сейчас качества и стороны сейсмических явлений, отыскать единую общую основу развития квантовой сейсмогеодинамической системы, функционирование которой обусловлено постоянным притоком материи и упругой энергии земных недр.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бутовская Е. М., Соколова И. А., Павлов А. Б. О режиме выделения сейсмической энергии.— В кн. Земная кора и верхняяmantия Средней Азии. М.: Наука, 1977. 212 с.
2. Кузнецова К. И. Схема распространения трещин в неоднородной среде и статистическая модель сейсмического режима.— В кн. Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976, с. 114—127.
3. Ризиженко Ю. В. Избранные труды. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985, 408 с.
4. Садовский М. А. Естественная кусковатость горной породы.— Доклады СССР, т. 247, 1979, № 4.
5. Уломов В. И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: Фан, 1974. 215 с.
6. Уломов В. И. Синоптический долгосрочный прогноз сейсмической обстановки.— Доклады АН УзССР, 1987, № 6.
7. Уломов В. И. О соотношении размеров очагов и областей подготовки землетрясений.— Доклады АН УзССР, 1987, № 9.

Институт сейсмологии  
АН УзССР

Поступило  
1. 06. 87

УДК 550.348.235(11+12)

Т. ЭРГЕШЕВ

#### РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПАМИРА ПО СУБШИРОТНЫМ ПРОФИЛЯМ

В июле — сентябре 1981—1982 гг. Институтом геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева АН УзССР, Ферганской геофизической экспедицией Объединения «Узбекгеофизика», геологическим факультетом Ташкентского государственного университета им. В. И. Ленина, взрывной бригадой Южно-Таджикской геофизической экспедиции Управления геологии ТаджССР и Опытно-методической геофизической экспедицией Института сейсмологии и сейсмостойкого строительства